

第11次南極地域観測隊宇宙線部門報告

楠瀬昌彦*・小玉正弘**

Report of Cosmic-Ray and Balloon Observations by the 11th Japanese Antarctic Research Expedition in 1969-1971

Masahiko KUSUNOSE* and Masahiro KODAMA**

Abstract: To explore the solar cycle dependence of the latitude effect of cosmic ray intensity, measurements of the nucleon and muon intensities were carried out using the super neutron monitor 3-NM-64 and the cubical meson monitor aboard the icebreaker FUJI, during the period from November 25, 1969 to May 8, 1970.

Six plastic balloons (5,000m³) were launched from Syowa Station during January to February 1970. Four of them were made for observation of auroral X-rays and two flights for the low energy proton and alpha particles. On February 11, 1970, an event of distinct solar X-ray burst was observed in the course of auroral X-ray measurement at a height of 7 mb.

The continuous observation of cosmic ray neutron intensity at Syowa Station has been made using the super neutron monitor 12-NM-64 since February 1969. In February 1970, a cubical meson monitor (effective area: 4m²) was newly constructed by the use of plastic scintillators as detector and the lead producer of the neutron monitor as absorber. The barometric pressure coefficients were found to be 0.74 %/mb and 0.16 %/mb for the neutron and meson components, respectively. A solar cosmic ray event of order of 10⁹ eV was observed by two set of the super neutron monitors, aboard FUJI and at Syowa Station, on January 24-25, 1971. An appreciable deviation of the observed barometric pressure due to high winds and its influence on the pressure-corrected cosmic ray intensity were investigated using the data of neutron component.

Collection of cosmic dust was tried at Syowa Station with the filtration method for water which was made from iceberg, as well as for air.

1. は じ め に

第11次南極地域観測隊においては、前年度からの3つの研究テーマ、すなわち 1)宇宙線緯

*高知大学文理学部物理学教室. Department of Physics, Kochi University, Asakura 1000, Kochi.

**理化学研究所. The Institute of Physical and Chemical Research, Kaga 1-7-13, Itabashi-ku, Tokyo.

度効果の経年変化, 2) 気球による低エネルギー宇宙線の観測, 3) 宇宙線強度連続観測を若干の修正, 改良を施した上で, そのまま引き継いだ. ほかに宇宙塵の採集を系統的に行なった.

海上における宇宙線緯度効果の測定については, 宇宙線中性子成分は 3-NM-64 中性子計による第 4 回目, 中間子成分は MT-64 型中間子計による第 2 回目の船上観測が行なわれた.

大気球による観測は 2 年目を迎え, 気球容積も前年の $2,000\text{m}^3$ から $5,000\text{m}^3$ になった. オーロラ X 線観測を 4 回, 太陽重粒子観測を 2 回, 計 6 回の気球観測を行ない, いずれも飛しょうに成功した.

IQSY 型中性子計の建設は, 第 8 次南極地域観測隊による 3 本の大型中性子計数管の設置 (石田・小玉, 1969) に始まり, 計画 3 年目に, 第 10 次隊により, 12-NM-64 中性子計が完成した (小倉, 1971). 第 11 次隊では, これをそのまま引き継ぐとともに, 新たに有効面積 $2\text{m} \times 2\text{m}$ の MT-64 型中間子計を建設し, 中間子成分の連続観測を行なった.

汚染の少ない極地方では, 宇宙塵の採集が能率的なので, 空気中および氷山水より宇宙塵の採集を試みた.

ここに, 第 11 次南極地域観測隊宇宙線部門が行なった観測の内容と, これまでにとりまとめられた結果の概要について報告する.

2. 宇宙線緯度効果の経年変化の観測

宇宙線中性子および中間子両成分について, 「ふじ」船上に固定した測定装置によって航海中連続観測を行なった. 宇宙線観測室内の測定装置の配置は図 1 に示す通りである.

これらの宇宙線強度の計数は, 南極用自動読み出し記録装置 (後藤他, 1967) により, 10 分毎に紙テープパンチャーとプリンターにより, デジタル値で記録される. その他, 気圧, 気圧槽内温度, 観測室内温度, 中性子および中間子強度のレートメータ出力がモニター用の打点式レコーダのチャートにアナログ記録される. 紙テープ (6 単位) は帰国後電算機によるデータ処理が行なわれる.

前年次と異なるのは次の点である. 中間子計のプラスチックシンチレーター用の暗箱は 2 重になっていて, その間に通気をして温度調節を行なうようになっていたが, 本年次は中止した. 暗箱への光もれが心配されたので, 接合部の目張りを十分に行なった. 日時表示用のディジチューブへの高圧電源 (180V) が Ni-Cd 電池と DC-DC コンバータにより無停電

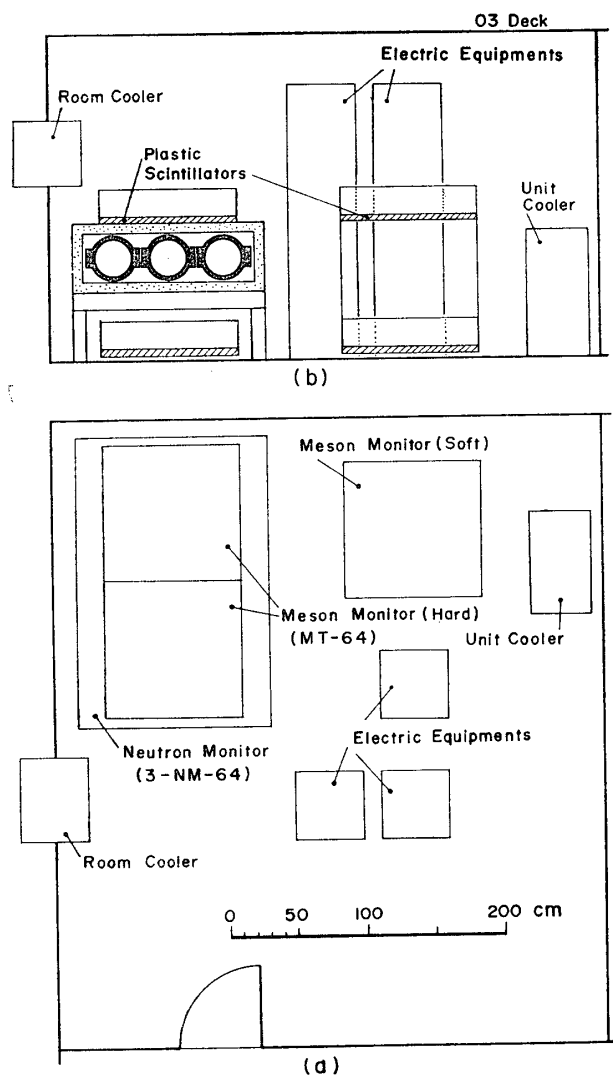


図 1 “ふじ”船上宇宙線観測室.

(a)平面図 (b)正面図

Fig. 1. Cosmic-ray observation room aboard “FUJI”.

(a)A plan. (b)A front view.

化された。このため、船上電源の切換時に従来生じていた時計の狂いがほとんどなくなった。

1969年11月25日東京出港時から、中性子成分(N)，中間子硬成分(M)，中間子全成分(T)の測定を開始した。N成分とM成分の観測は順調に行なわれたが、T成分は12月初め頃より計数値が減少してきたため、12月24日、南緯60度を通過した時点でM成分とT成分の測定を中止し、機器の点検整備を行なった。その結果、M成分は検出器の面積をこれまでの半分の 0.81m^2 として、T成分はもとの面積 0.81m^2 を保って測定ができるようになった。中間子計によるM成分とT成分の、昭和基地からの復路の観測は、南緯60度以北から東京まで行なわれた。中性子計は全航海にわたって順調に作動した。1970年5月8日東京入港、すべての観測を終了した。

プリンターは、船上用のものを基地用のものと交換して、使用しながら持ち帰る予定であったが、基地用プリンターが不調で、帰路における記録は紙テープのみで行なわれた。

船上宇宙線観測室は温度調整が行なわれているが、不十分なので、ルームクーラーが別に取りつけられている。前年次の航海のとき、クーラーがうまく動作しなかった原因が、放熱部からの熱の発散が十分でなかったことによることがわかり、東京出港前に改善された。船の南下とともに、室温が上昇してきたため、11月28日からクーラーを使い始めたが、船がゆれるにつれて、クーラーから水が室内に落ちるようになった。水をバケツで受けるようにしたところ、一夜でバケツ半分位になった。原因はクーラー内の水が排水されないためであることがわかり、12月1日に修理を行ない、以後は順調であった。

以上の船上観測のうち、復路のオングル島接岸点からケープタウンまでは小倉紘一隊員（第10次越冬）、その後ケープタウンから東京までは平沢威男隊員（第11次夏）に観測を依頼した。得られたデータの電算機処理・解析については現在続行中である。

3. 大気球による観測

3.1. 観測目的

第11次隊では次の2つの項目について気球観測が行なわれた。

3.1.1. オーロラX線の観測

大気内に突入して、オーロラの原因となる荷電粒子により発生する電磁波のうち、25～200 keV のオーロラ X線を、エネルギー別に6チャンネルにわけて観測することにより、オーロラの発生機構、エネルギースペクトル、時間変動等について研究することを目的とする。

3.1.2. 太陽重粒子の測定

気球高度における太陽宇宙線と、銀河宇宙線中の低エネルギー重粒子、100～450 MeV の陽子と α 粒子とを測定して、エネルギースペクトルを求める。気球飛揚中に、もし太陽フレアが発生すれば、フレアに伴う太陽宇宙線中の陽子と α 粒子（ He^3 と He^4 核）の強度およびエネルギースペクトルの時間変化を観測する。フレアに遭遇しないときは、銀河宇宙線を観測することになるが、宇宙線の11年変化の原因と考えられている modulation の機構についての手がかりとする。

3.2. 観測の概要

大気球による観測は、前年次（第10次）に引きつづいて2度目であるが、本年次の観測の

主要な点は次の通りである。

- a) 気球の容積が前年次の $2,000\text{m}^3$ から本年次では $5,000\text{m}^3$ と2倍以上になった。これにより、搭載機器の重量増加と到達高度の上昇が可能になった。
- b) 前年次ではオーロラ X 線の地磁気共役点観測に重点がおかれて、10回の飛しょうが行なわれたのに対し、今年次はオーロラ X 線のエネルギースペクトルの精密化を目指して4回、新たに太陽重粒子の観測2回を加えた。
- c) X 線観測のうち2回は今次初めて昭和基地で打ち上げられるロケット観測と同時にるように計画した。
- d) 気球容積の増加に伴い、浮力に余裕ができたので、オーロラ X 線測定器と同時に、気象観測用のゾンデをつけ、浮遊方向を知る一助とした。
- e) 前年次における気球高度の時間変化から、日中にあげた気球の高度が夜間になると下がる傾向のあることが指摘され、これを避けるため放球時刻を夜間にえらび、レベルフライトが日中に行なわれるよう計画した。

3.3. 観測装置

3.3.1. オーロラ X 線測定器

オーロラ X 線測定器の概要について、基本的には第10次隊で使用した測定器（小玉・小倉，1969）と同じであるが、エネルギー識別に関して若干の改良が加えられた。そのブロッ

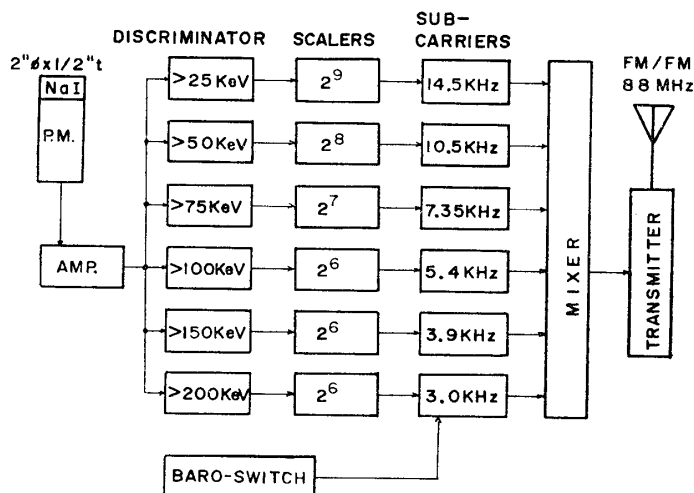


図 2 オーロラ X 線測定器のブロック図
Fig. 2. Block diagram of the balloonborne instrument for auroral X-ray measurements.

クダイアグラムは図2の通りである。すなわち、ディスク回路により、25, 50, 75, 100, 150, 200keV の6エネルギーレベルに対応する信号が取り出され、それぞれ 2° , 2° , 2° , 2° , 2° , 2° のスケーラによって減数されたのち、サブキャリアの14.5, 10.5, 7.35, 5.4, 3.9, 3.0kHzのそれぞれのチャンネルに送られる。気球高度の測定には、アネロイド式のバロースイッチが用いられ、その信号は3.0kHzのサブキャリアを2重に変調する。光電子増倍管は飛揚の1~2日前にソケットにさし込み、シリコンゴムでシールする。低圧電源はNi-Cd電池を用い、飛揚前に充電して使用する。アンテナを含めた測定器の重量は約5.0kgであった。

3.3.2. ラジオゾンデ

上記のX線観測装置は比較的軽量で、気球の浮力に余裕があったので、高層気象観測用のラジオゾンデを同時につけて飛揚させ、レーウィンでその追跡をして、気球の浮遊方向を知る手掛りとした。電源として、長時間観測に耐えるよう高圧電源93.6V、低圧電源9.6Vの水銀電池を用いた。このラジオゾンデは、時計装置により、あらかじめ設定された時間に切り放されるよう、ゾンデを吊しているヒモをニクロム線で焼き切るようにし、その電源には上記9.6Vの水銀電池を利用した。時計装置は旅行用小型目覚時計を改造した。ラジオゾンデの追跡は気象定常観測用のレーウィンを利用したので、定常観測との重なりを避けるため、送信周波数を定常用の1680MHzに対して、大気球用は1674~1676MHzにセットした。定常気象観測と時間的に重なったときは、一旦大気球の追跡を打ち切って、気象ゾンデの信号を受信し、ゴム気球破裂等による受信終了後、再び大気球の追跡に入るという手段を考えた。ラジオゾンデと水銀電池の重量の合計は約2.6kgであった。

3.3.3. 太陽重粒子測定器（玉井他，1970）

測定器のブロックダイアグラムは図3に示す。dE/dXおよびEカウンターからの出力は、各々の増幅器を通り、DHClによってアンチカウンターとの反同時をとったのち、DDHでデジタル化される。DHC2で送信器用の波形にされ、サブキャリアに送られる。3.9kHzはdE/dXカウンターのパルス波高、5.4kHzと7.35kHzはそれぞれEカウンターからの陽子と α 粒子に対応するパルス波高をあらわしている。3.0kHzはアンチカウンターの計数とバロースイッチの信号、10.5kHzと14.5kHzは、それぞれdE/dXカウンターとEカウンターの合計数、およびEカウンターをつきぬける高エネルギー粒子とEカウンターだけに感じる中性粒子（中性子と γ 線）の合計数を送るのに用いられる。サブキャリア回路、ミキサー回路、バロースイッチおよび送信器は、X線測定器に用いられたものと同様の

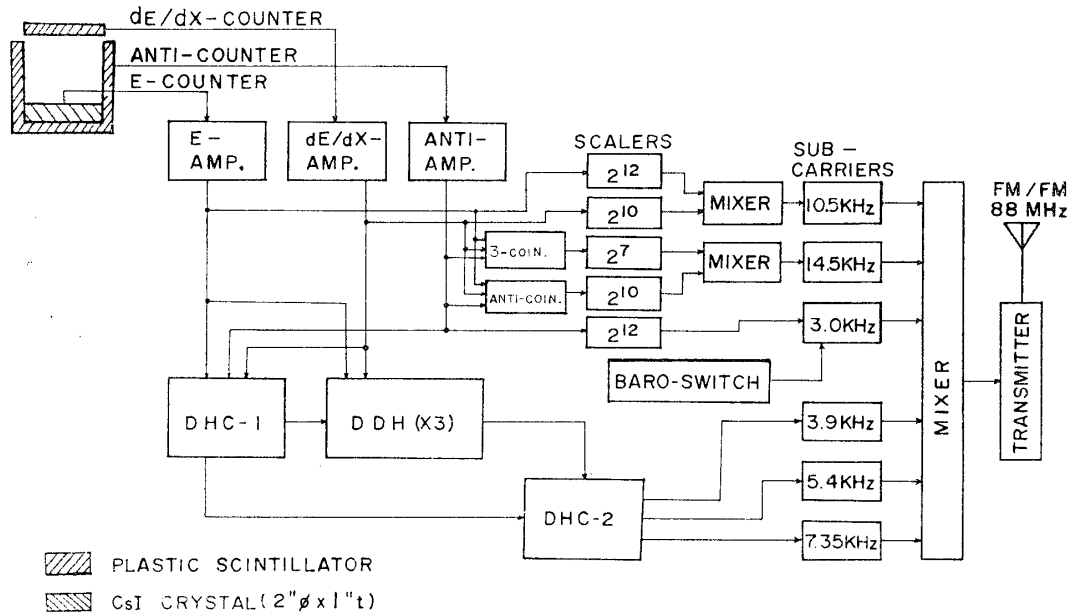


図 3 太陽重粒子測定器のブロック図

Fig. 3. Block diagram of the balloonborne instrument for low energy solar cosmic-ray measurements.

ものである。低圧用電源は Ni-Cd 電池を使用した。アンテナを含む装置の重量は約 12.7 kg である。

3.3.4. 受信記録装置

受信記録装置のブロックダイアグラムは図4に示す通りである。測定器の送信器から送ら

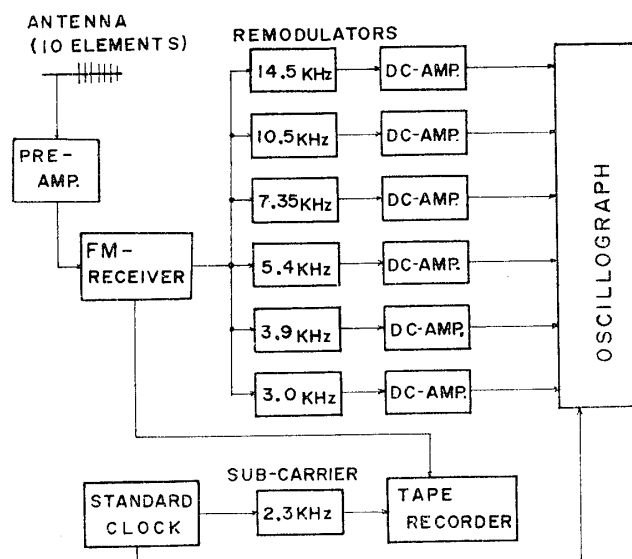


図 4 受信記録装置のブロック図

Fig. 4. Block diagram of the receiving and recording equipment for balloon experiment system.

れてくる FM 電波を観測棟屋上の10素子の八木アンテナで受ける．信号はプリアンプを通してケーブルで宇宙線観測室内の FM 受信器に導かれる．復調器によって復調された6チャンネルの信号は，直流増幅されて6ペンのオシログラフで記録される．一方 FM 受信器の出力はオーディオ用のテープレコーダーにも同時に記録される．このように，2系統の記録装置を同時に用いることにより，チャートまたはテープの交換等による記録の中断，あるいはいずれかの記録装置の故障による欠測が避けられる．

3.4. 気球飛揚

使用された気球の材料は，厚さ19ミクロンの strato フィルムで，満膨張容積が $5,000\text{m}^3$ である．重量は気球により若干の相違があり ($30.2\sim 30.8\text{kg}$)，軽いものを重粒子用に使用した．気球にはヘリウムガスをつめたが，高価なヘリウムガスが使用されたのは，長距離海上輸送と放球作業の安全のためである．ヘリウムガスの浮力によって持ち上げられる重量は，気球自体と観測装置との合計でおよそ次のようになる．

- a) 気球+X線測定器+ラジオゾンデ= 38.1kg
- b) 気球+X線測定器= 35.5kg
- c) 気球+重粒子測定器= 43.2kg

ただし，気球の自重はいずれも 30.5kg とした．

低温時での放球では，ポンベのガス圧と浮力との関係が重要となる．使用するポンベは 35°C ，1気圧で 7m^3 のヘリウムガスをつめたとき， $150\text{kg}/\text{cm}^2$ のガス圧を示すものとする．このポンベの容積は，およそ $7\times 1/150=0.047\text{m}^3$ である．いま，気温が $t^\circ\text{C}$ のときのポンベのガス圧が $P\text{ kg}/\text{cm}^2$ であるとする．このヘリウムガスを昭和基地の代表的な気圧， 980mb ($0.98\text{kg}/\text{cm}^2$) のもとに，ポンベから大気中にとり出したときの体積 V は，温度一定として，

$$V=(0.047/0.93)P=0.048P\ (\text{m}^3) \quad (1)$$

となる．一方，気温 $t^\circ\text{C}$ のときのヘリウムガスの空気中における浮力 $F\text{ kg}$ は， 0°C ，1気圧における空気とヘリウムの密度の差を $1.11\text{kg}/\text{m}^3$ とおくと，ヘリウムガスの大気中での体積を $V\text{ m}^3$ として，

$$\begin{aligned} F &= 1.11 \times (273/(273+t)) \times (0.98/1.013)V \\ &= (293/(273+t))V\ (\text{kg}) \end{aligned} \quad (2)$$

と求められる．(1)と(2)より，浮力 F とポンベのガス圧 P の関係

$$F=(14/(273+t))P\ (\text{kg}) \quad (3)$$

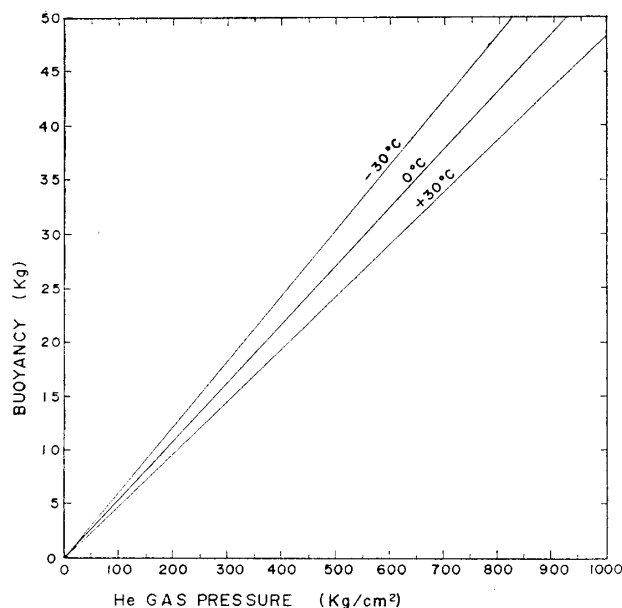


図 5 ヘリウムガスボンベの合計圧力と
気球の浮力の関係

Fig. 5. Buoyancy of a balloon versus total
gas pressure in the He gas cylinders.

が得られる (図 5). いま気温を -20°C とおくと, 必要ガス量は圧力に換算して,

- a) の場合, 約 $690\text{kg}/\text{cm}^2$
- b) の場合, $640\text{kg}/\text{cm}^2$
- c) の場合, $780\text{kg}/\text{cm}^2$

である. 35°C で $150\text{kg}/\text{cm}^2$ のガス圧は, -20°C のときは $123\text{kg}/\text{cm}^2$ になっている. したがって, a) の場合, 5.6本, b) 5.2本, c) 6.3本のボンベが必要である. 実際に気球を飛揚するときは, この他に自由浮力が付加されなければならないので, ガス使用量は更に10%ほど増加する.

(飛揚作業の実際)

気球の放球作業は, 風が強いと気球がよじれるので, 風速の最大値が 3m/s 程度以下であることが望ましい. 夏季にはオングル島付近は, 夜間 katabatic 風が吹くことがあるので注意を要する. 夏季は夜といっても十分明るいので作業には支障はない. まず, 気球の頭部のロンチャーラインをそり上の気球ロンチャーにセットする. ロンチャーは気球の尾部が風下側に向かうように向きを定めておく. 海氷面上がやわらかいときは, 放球作業時に足をとられやすいので, あらかじめ雪上車等で踏み固めておいたほうがよい. ブリザードの後などは, ロンチャー付近にドリフトがついて, 雪面上に凹凸ができるので, このようなときはロンチャー自体を適当な場所に移動する.

気球頭部をロンチャーにセットしてから, 気球にヘリウムガスを充てんする. ボンベから減圧バルブを通して, 気球にガスを送る. 最大限 6 個のボンベから同時にガスを注入できるが, 急激にガスを送って, ガス注入部および気球自体を破損することのないように注意する. 気球内に注入されたガス量は, ボンベのガス圧力計の指示の変化量から計算する. また, 風のないときはロンチャーにつけられた浮力測定用秤で浮力を測ることもできる. 十分なガスが詰められると, ガス注入部を短く切り, ガスの洩れがないように封ずる. 気球の尾部を雪面上に敷いたシートの上に長くいっばいにのばす.

ロンチャー線を10mものばして観測装置とアンテナを結びつけるが、このとき結び目は十分に確認する必要がある。準備ができると観測装置を手にとって用意する。ロンチャーの放球レバーを押すと、気球の頭部がはずれ気球が上昇してゆくから、装置を雪面にあたためるように放す。

3.5. 観測経過

3.5.1. フライトの状況

大気球による観測は、表1に示すように合計6回行なわれた。各気球の浮遊高度の時間変化は、図6(a)-(f)に示す通りで、以下その概略についてのべる。

フライト B₅-1: 1970年1月23日, 1306UT, ガス注入開始後34分で注入終了, ボンベ7.5本分のヘリウムガス使用. 1359UT放球. 上昇速度 250m/minで, 1615UT高度 11mb でレベルフライトに入った. 翌24日 0300UT, レベルを保ったまま気球は遠ざかり, 受信終了した. この時期には, 放球時として当初計画した夜間に大陸から katabatic 風が吹いたため, 日中の微風時を選んで放球した. フライト中, 太陽活動は静穏であったため, バックグラウンド強度の観測が行なわれた.

フライト B₅-2: 1月25日, 1912UT ガス注入開始, 1957UT 終了. ボンベ約7本分のヘリウムガスを注入した. 2006UT放球, 上昇速度 240m/min で, 2311UT高度 7mb でレベルフライトに入った. 1月26日 0400UT 頃より高度が下がり始め, 0600UT頃より 8mb で再びレベルフライト, 0902UT受信不能となり, 観測終了した. このフライト中, 各チャンネルとも計数の増加はほとんどみられなかった. レーウィン受信は定常観測のため, 1月25日

表 1 昭和基地における1970年の気球観測

Table 1. List of balloon flights carried out at Syowa Station in 1970.

Balloons	Physical instruments	Date	Launch	Fade-out	Maximum altitude	Results
B ₅ -1	Heavy	Jan. 23	1359UT	24th 0300UT	11mb	Quiet day background
B ₅ -2	X-ray Radio sonde	Jan. 25	2006	26th 0902	7	
B ₅ -3	X-ray Radio sonde	Jan. 29	1922	30th 1345	8	
B ₅ -4	X-ray Radio sonde	Feb. 10	2016	11th 2238	7	Feb. 11 Solar X-ray event
B ₅ -5	Heavy	Feb. 15	1833	16th 2351	~11*	
B ₅ -6	X-ray	Feb. 17	1204	18th 1342	~7~8*	X-ray burst (×4)

* Estimated value

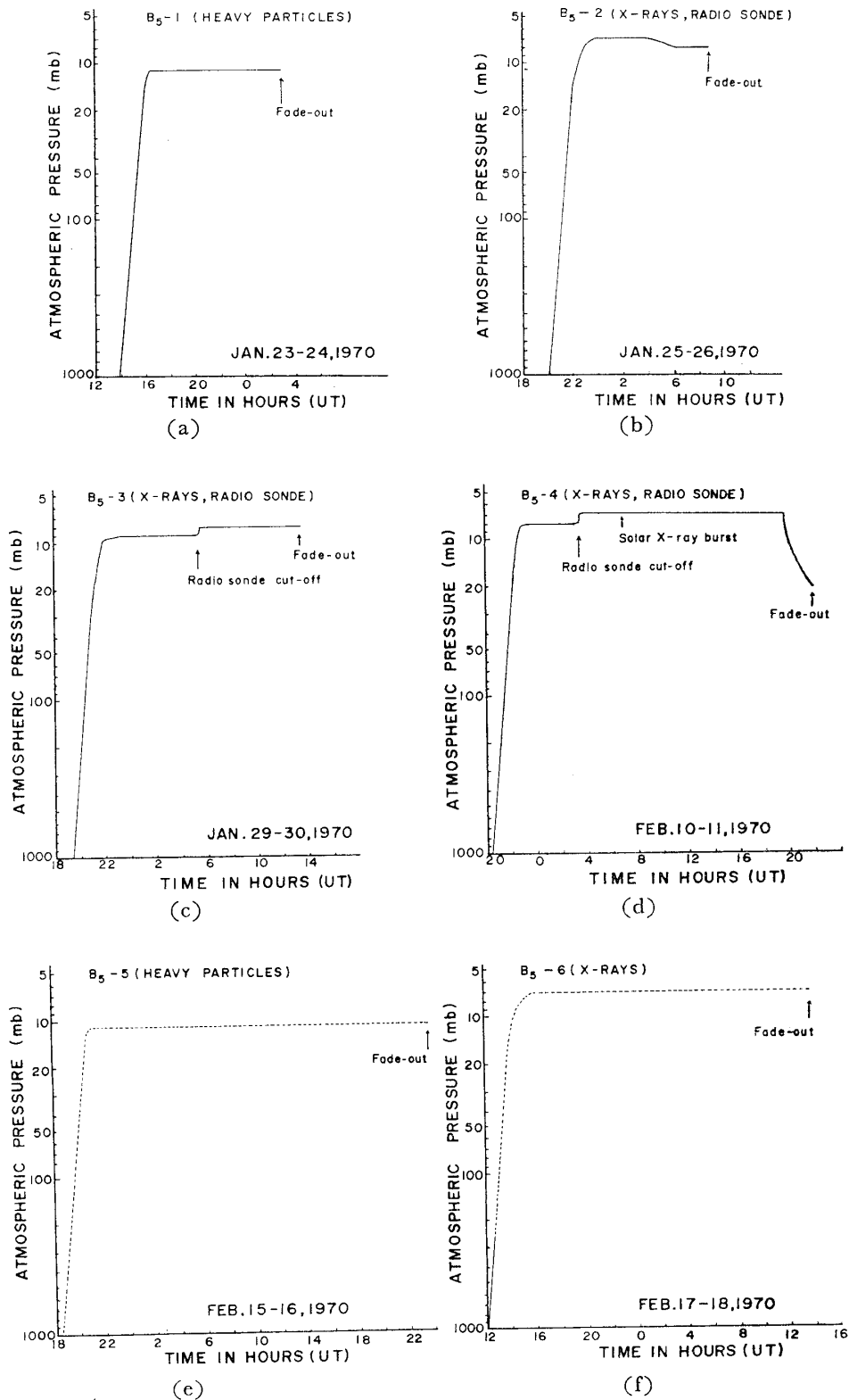


図 6 気球の浮遊高度の時間変化

Fig. 6. Changes of the floating altitude of the balloons with time.
(a) B₅-1. (b) B₅-2. (c) B₅-3. (d) B₅-4. (e) B₅-5. (f) B₅-6.

2252UT に一時中断した。このときすでにほとんど信号がなかった。1月26日0100UT, 再びレーウィンによる追跡を試みたが, 受信はできなかった。ラジオゾンデ切り放しの時刻は放球時より16時間後(1月26日1200UT頃)にセットしてあったので, その効果は不明であった。

フライト B_s-3: 使用ボンベ数は約7本。1922 UT の放球時に測定器の一部分が雪面上を引き摺られた。このときラジオゾンデのアンテナが損傷をうけたらしく, 放球後しばらくは弱いながらシグナルが出ていた。X線測定器のアンテナも変形したが, X線測定器とアンテナの機能には異常は認められなかった。1月29日2319UT, 気球は高度 9mb でレベルフライトに入った。1月30日0529UT, 焼き切り装置が作動したらしく, レベルは 8mb に上昇した。1345UT観測を終了した。

フライト B_s-4: 2月10日 2016 UT 放球。2232UT に高度 9mb に達しレベルフライトに入った。11日0337UT頃, ラジオゾンデの焼き切りが行なわれたらしく, 高度が 7mb に上昇し, レベルフライトに入った。0706UT より0710UT にかけて, 太陽X線と思われる異常増加を観測した。気球は1939UTから徐々に高度が下がり, 2238UT, 22mb でフェードアウトした。レーウィンによる追跡は, ルーチン観測による中断後は, 信号を捕えることができなかった。

フライト B_s-5: 2月15日, 1833UT 重粒子測定器をつけて放球した。約29時間後の16日2351UT 受信を終了した。バロースイッチからの信号が不良で, 正確な高度は不明であるが, 11mb 程度と推定される。太陽活動は静かで, 1回目と同じくバックグラウンドの測定が行なわれた。

フライト B_s-6: 2月17日ロケットとの同時観測を狙い, X線ゾンデを飛揚した。この回のフライトは受信状態が悪く, 75keV 以上の4チャンネルのデータはとれなかった。また, バロースイッチも不調であったので, 高度は正確でないが 7~8mb と思われる。2月18日1342UT に, 受信を終了した。なお第5, 第6回とバロースイッチが不良であったが, スイッチの接触不良ではなく, サブキャリアの周波数変化により, 信号が変調の域外に出たためと思われる。

3.5.2. 検 討

観測の過程で明らかになったこと, および問題点について概略をのべる。

a) 放球の時刻について: 前年次の気球の飛行状態を調べたところ, 最高高度に達してから十分な水平飛行をすることなく, 高度が下がる例が多くみられた。これらは, 放球時に太

陽高度の高いものが多かったことからみて、上昇中に太陽の日射をうけて、気球が膨張してヘリウムガスが放出されたため、浮力が減少し、夜になって太陽高度が下がり、日射が弱くなり、気温が下がるとともに、気球の高度も下がるのではないかと推察された。このため、今後は太陽高度の低い時刻（夜間）に放球を行なう計画であった。しかし、夜間の作業には、いくつかの欠点がある。南極の夏とはいえ、2月になれば太陽は地平線下に沈むようになり、気温も下がる。夏季には夜間、大陸からの katabatic 風が吹くことがある。また、夜は放球作業に人を集めにくい、などの問題があり、必ずしも夜間の放球は容易でなかった。しかし、結果からみると、気球が 5,000m³ と大型になったため、気球の到達高度は上がっており、レベル低下はあまりみられなかった。

b) レーウィンによる方位測定について：3回実施したが、うち1回は放球時の事故により、データは得られなかった。他の2回とも、最初の3時間くらいのうちに信号が弱くなり、ルーチン観測による中断後は、再び信号をとらえることができなかった。したがって、データとしては、一部を除きルーチンの気象観測以上のものではなかった。

c) 焼き切り装置について：フライトB_s-2では、焼き切り設定時刻以前に電波がとだえたので、効果は不明である。その後は、時間設定を短縮し、B_s-3、B_s-4の各フライトはいずれも成功、切り放し後高度が1~2mb上昇するのが確認された。

d) ワッチについて：気球飛揚後、受信終了まで連続のワッチが必要であり、2名が交代であたった。観測強度の増減に伴うチャートスピードの切換、チャートの交換、インク補充、ペン先交換、磁気テープ交換、受信器およびアンテナ方位の調整などの諸作業で手一杯であった。

3.6. 観測結果の概要

計4回のオーロラX線観測については、特に顕著な現象は検出されなかったが、2月11日、気球浮遊中に、たまたま太陽硬X線バースト現象に遭遇し、貴重なデータが得られた。太陽重粒子観測は2回行なわれたが、太陽面の活動はなく、銀河宇宙線の観測が行なわれた。以上2点については、すでに報告されているが、その概略を述べる。

3.6.1. 1970年2月11日の太陽X線バースト(楠瀬他, 1970; KODAMA *et al.*, 1970; KODAMA *et al.*, 1971; OGURA *et al.*, 1971).

1970年2月11日0706UT頃、オーロラX線観測用の気球B_s-4が、class 2Bの太陽フレア(N18°, W04°)に出会い、25keV以上のエネルギーで、最大増加時にバックグラウンド強度の約28倍のX線バーストを観測した。このバーストは、これまで気球高度で観測され

たもののなかでは最も大きいものである。図7に25~50keVのX線の30秒毎の計数と、9.4GHzマイクロ波フラックス(豊川)の時間変化を示す。X線の増加は0705:50UTから始まり、0706:48UTに最大の増加になり、0713UT頃に終わっている。

太陽電波、X線ともにはっきりした2つのピークを持ち、両者は時間的によく一致した変化をしている。スタート時刻について、電波の各波長とX線はともにほぼ同じであるが、電波のピーク時刻は、周波数の低いものほど遅れ、9.4GHzで10秒、1GHzでは約2.5分、X線のピーク時刻よりそれぞれ遅れている。35GHzとX線が時間的によく一致しているところから、X線源は太陽の彩層内の35GHz以下の周波数の電波吸収の大きいところにあると考えられる。このX線バーストは、人工衛星OSO-5によっても14keV~250keVの範囲にわたって同時に観測されており、両者のデータの比較検討も行なわれた(OGURA *et al.*, 1971)。

3.6.2. 低エネルギー重粒子 (TAMAI *et al.*, 1971)

重粒子測定フライトは、B_s-1とB_s-5の2回行なわれた。それぞれ気球高度11mbで、

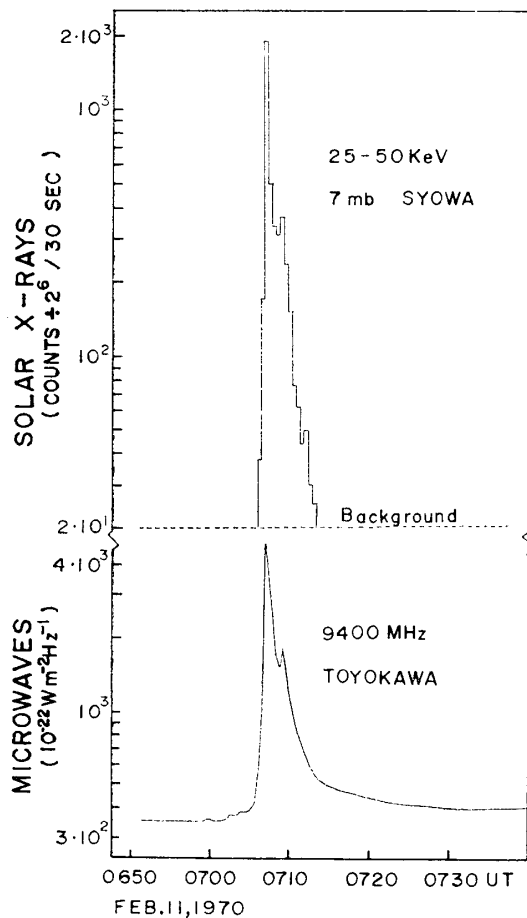


図7 1970年2月11日の太陽X線と電波の時間変化
Fig. 7. Time profiles of 25-50 keV at a height of 7 mb and microwaves of 9.4 GHz.

12時間および22.5時間の浮遊が行なわれた。気球の浮遊中に太陽現象には出会わなかったもので、静穏な日の 100MeV/N 付近のプロトンとヘリウム核の銀河宇宙線のスペクトルが得られた。さらに、気球高度におけるガンマ線 (7~70MeV) の上限強度が推定された。結果を表2に示す。大気中での absorption mean free path としては、アルファ粒子で 45 g cm⁻², ガンマ線で 250.6~286.5 g cm⁻² が高度変化から得られた。

表 2 昭和基地上空の気球高度 11mb における低エネルギー 1 次宇宙線
バックグラウンド強度

Table 2. Galactic cosmic-ray spectra of protons, helium nuclei and gamma
ray flux at the balloon altitude of 11mb over Syowa Station.

Particle	Energy range (MeV/N)	Intensity (/m ² · s · st · MeV)
Proton	128—160	$(2.68 \pm 0.09) \times 10^{-1}$
α -particle	35—100	$(6.11 \pm 0.84) \times 10^{-2}$
	122—160	$(1.08 \pm 0.15) \times 10^{-1}$
γ -ray	7—70	$\geq 2.85 \times 10$ Upper limit

4. 宇宙線強度の連続観測

4.1. 観測装置

1969年2月に完成した大型中性子計 (12-NM-64) に加え、1970年2月からプラスチックシンチレータによる中間子計 (MT-64) を稼動させ、中間子強度の連続観測が開始された。

中間子測定用プラスチックシンチレータ暗箱の断面は、図8に示すようなもので、シンチレータ1枚の大きさは、1m×1m×4cmである。これを光電子増倍管 EMI 9530B によって、箱の横側からのぞく方式になっている。暗箱は中性子パイルの上下に置き、2個で立方形を構成するよう、図9のごとく配置されている。したがって、中性子計の鉛約10cmが軟成分の吸収に利用されている。このような立方型宇宙線望遠鏡が4組あり、有効面積4 m²の中間子計 MT-64 (CARMICHAEL, 1968) を形成している。

1970年1月20日、中性子パイル No.2 の上部に暗箱4個を載せ、1月30日、パイルの下部に残り4個の暗箱を挿入した。同時放電のためのシンチレータの組合せは次のとおりである。

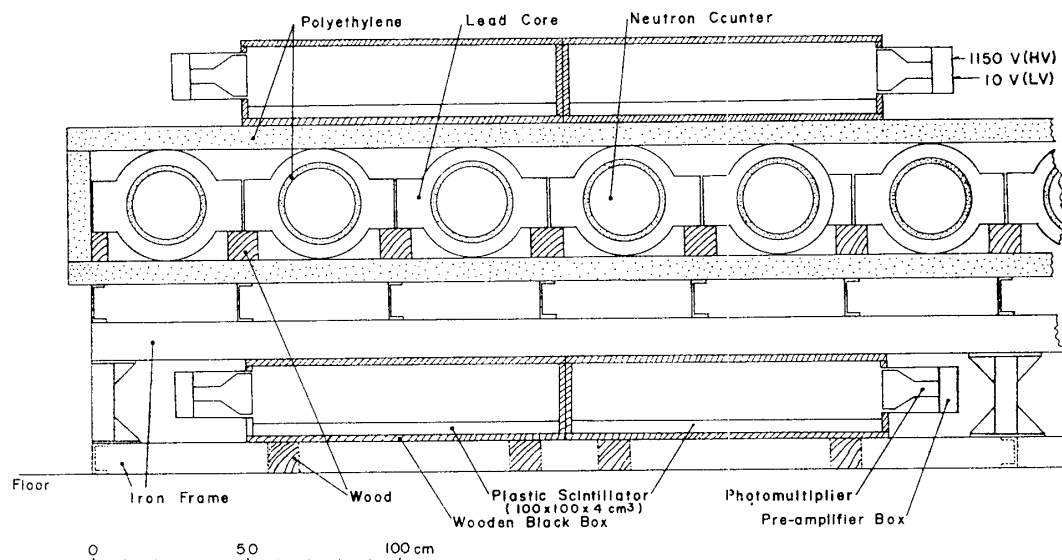


図 8 中間子計の構造

Fig. 8. A cross section of the cubical meson telescope with effective area of 4 m^2 .

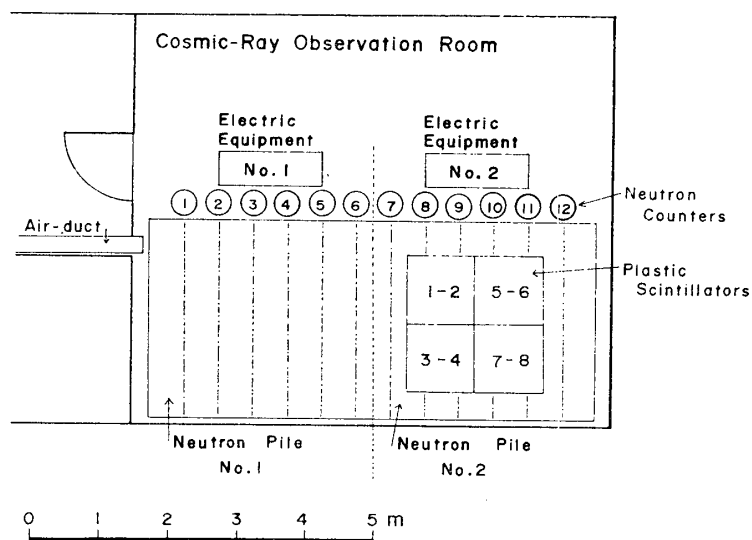


図 9 宇宙線観測室の中性子計および中間子計の配置図

Fig. 9. Schematic diagram of 12-NM-64 neutron monitor and MT-64 meson monitor in the cosmic-ray observation room at Syowa Station.

チャンネル	シンチレータの組合せ	
1	上部 No. 1	下部 No. 2
2	No. 3	No. 4
3	No. 5	No. 6
4	No. 7	No. 8

2月4日、自動読み出し記録装置（図10）2号機のデータの11番目に記憶装置を増設し、4組合計の中間子計数値を入れた。

4.2. 観測の経過

4.2.1. 回路の変更

中間子計設置のため、読み出し記録装置2号機に新たにとりつけた基板は、10進スケーラー2枚、10進ストレージ3枚、リードアウト1枚、コインシデンス1枚である。従来の基板に回路を増設したものとしては、プログラム1の10進リングカウンターを12進に変更するため、基板1枚をつけ加えた。

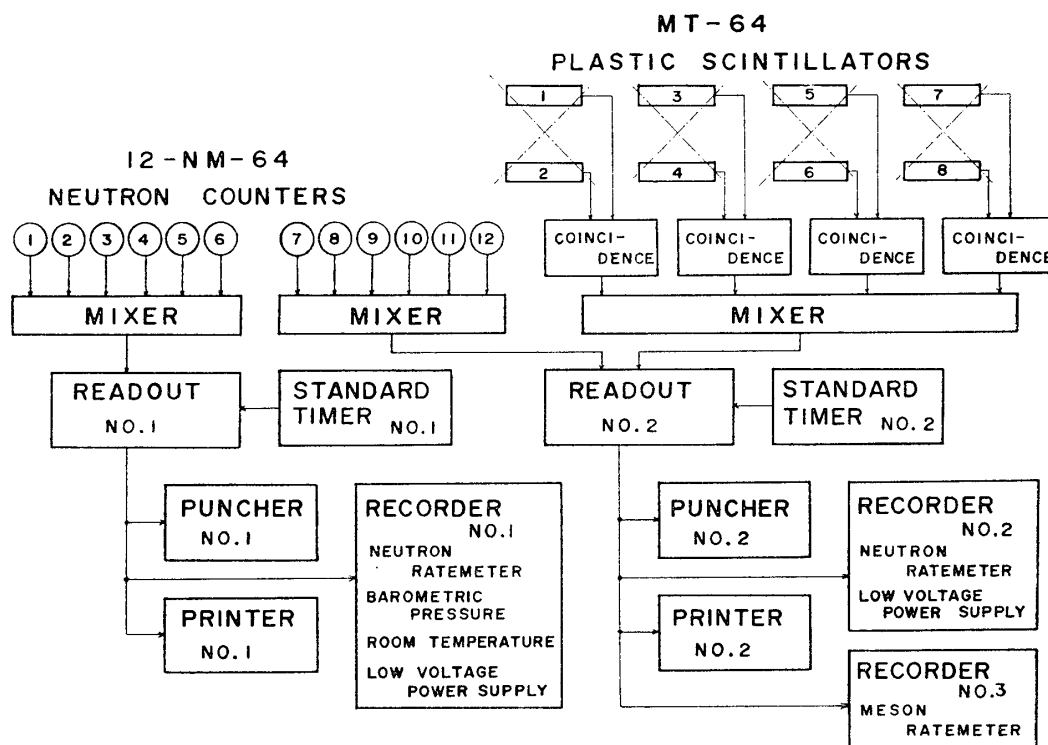


図 10 昭和基地における宇宙線観測記録装置の系統図

Fig. 10. Block diagram of the cosmic-ray monitoring system at Syowa Station.

1月14日、新しく中間子の計数を記録するようになると、データの読み出し記録に要する時間が11秒かかることがわかり、このためプリンターモーターコントロール回路は、従来20秒間プリンターおよびパンチャーのモーターを動かしていたのを30秒間に延長した。1月19日、読み出し記録装置2号機を、従来の10分毎読み出しから5分毎読み出しに変更するため、プリントコマンド回路にOR-回路を付加した。4月24日、読み出し記録装置1号機の読み出し間隔を、10分から5分に変更した。9月2日、1号機に2号機と同様に紙テープパンチャーのモーターコントロール回路を付加した。10月5日、1号機に2号機と同じくパリティチェック回路を付加した。

4.2.2. 故障

自動読み出し記録装置2号機に、中間子用の回路を付加してから、しばらくノイズを拾って、正規の時間以外に読み出しが起こったが、スイッチ回路を一部変更してからは、トラブルはなくなった。また、スイッチ回路については、コンデンサー1個の不良のため、プログラムが正しく作動しないことがあった。装置本体については、その他小さな故障が2, 3あった程度である。

プリンターは、耐用年限に達している様子で、1号機、2号機ともしばしば故障した。特に機械的な部分のトラブルが多かった。プランジャーコイル駆動用のパワートランジスターとダイオードも、数個交換した。1971年2月限りで、この型のプリンターの使用は中止した。

1号機の紙テープパンチャーについて、8月20日頃からさん孔が時々2重打ちになるようになった。検討の結果、原因はパンチャーのモーターからの動力をさん孔部に伝達するクラッチスプリングの摩耗によるものとわかり交換した。しかし、芯棒自体もかなり摩耗しており、オーバーホールのため、1971年2月、新品と交換し日本に持ち帰った。

他に1号機のモニター用レコーダーにコネクター（10回路）の接触不良のため、打点の乱れが生じた。予備品がないため、コネクターを通さず、直接配線によって処理をし、1971年2月に良品の到着を待って交換した。

4.2.3. 保守

2台の自動読み出し記録装置には、それぞれ水晶発振器による独立の時計があり、読み出し記録等の制御は、これらの時計によって行なわれている。これらの時計は、地磁気部門の標準時計で較正を行ない、標準時計との時間差が30秒以内、2台の時計の時間差が10秒以内になるようにチェックし、1か月に2～3回の較正を行なった。

パンチャーの紙テープは、それぞれ異なる色を用い、1号機が11日毎、2号機が10日毎に交換を行なった（ただし2機とも5分毎読み出しの場合）。プリンターのロールペーパーは1号機が5日毎、2号機が4～3.5日毎の交換を必要とした。また、プリンターのインクリボンも1～2か月に1回交換した。レコーダーのチャートは1か月に1度の交換でよかったが、打点用のインクは時々補充した。

停電時用の低電圧電源として、普段にはフローティング充電されているアルカリ電池について、1年間に1度充電器による充電を行なった。蒸留水は1年間に2回補給した。

観測室の温度の調節は、温度調節器の制御による通風孔出口につけられたヒーターによって行なわれた。従来室内に1台の空気かくはん用のファンがあったが、更に1台追加して中性子パイル下のプラスチックシンチレータ暗箱の周辺の空気を動かすようにした。宇宙線観測室は、特に床が2重になっているが、わずかにすき間ができて、冷たい空気の入ってくる箇所がみられたので、シリコン剤によるコーキングを行なった。観測棟内の暖房用のファーンをたくと、宇宙線観測室の室温が上がり気味になるので、なるべく使わないようにした。

4.2.4. データ整理と交換

現地では、2号機のプリンターのロールペーパーから中性子全計数と中間子計数の5分値を読みとり、2時間毎に集計した。気象部門観測による地上気圧値を用いて、気圧補正を行ない、グラフにプロットした。中性子成分のデータは1か月毎にまとめ、Mawson 基地に送信した。この仕事には多くの時間を必要としたため、1970年2月から11月までの10か月間に行なった後は中止した。

4.3. 観測結果の概要

4.3.1. 中性子成分の気圧効果係数

中性子成分の各 multiplicity 毎の気圧効果係数は表3に示す通りである。これは、1969年2月から1971年2月までの各月毎に相関をとり、相関係数の値が0.99以上となったものの回帰係数を平均して得られたもので、単位は %/mb である。

4.3.2. 中間子成分の気圧効果係数

中間子成分の気圧効果係数は表4に示した。ただし、中間子成分に対する気温効果は考慮しないで計算した。相関は各 solar rotation 毎に行ない、これらのなかで相関係数が0.90をこえるものの回帰係数の平均値をとって0.16%/mb が得られた。

4.3.3. 昭和基地における宇宙線強度の逐日変化

表 3 中性子成分の気圧効果係数

Table 3. Barometer coefficient of neutron component.

	M=1	M=2	M=3	M=4	M=5	M=6	T _E	T _C	T _{OBS}
β	0.705	0.767	0.790	0.832	0.846	0.871	0.726	0.740	0.740

 β : Barometer coefficient (%/mb)

M : Multiplicity

T_E : Total event (calculated)T_C : Total count (calculated)T_{OBS}: Total count (observed)

表 4 中間子成分の気圧効果係数と相関係数

Table 4. Barometer coefficient of meson component and correlation coefficient for every solar rotation cycle.

Solar rotation No.	Correlation coefficient: R	Barometer coefficient: β (%/mb)
1868	0.90 \pm 0.05	0.16 \pm 0.02
1869	0.89 0.05	0.17 0.02
1870	0.84 0.05	0.18 0.02
1871	0.86 0.05	0.19 0.02
1872	0.92 0.05	0.16 0.01
1873	0.79 0.07	0.14 0.02
1874	0.87 0.06	0.16 0.02
1875	0.94 0.05	0.14 0.01
1876	0.91 0.04	0.19 0.02
1877	0.81 0.05	0.18 0.03
1878	0.85 0.04	0.25 0.03
1879	0.85 0.06	0.15 0.02
1880	0.82 0.06	0.16 0.02
1881	0.94 0.04	0.16 0.01

Mean (R \geq 0.90) 0.162

1970年2月から1971年2月までの、昭和基地における中性子成分全計数(N成分)および中間子成分(M成分)の逐日変化を図11に示す. 宇宙線強度の日平均値は、いずれも気圧補正をしたもので、solar rotation 毎にまとめて図示されている. 中間子成分は気圧補正のみで気温補正はなされていない.

中間子計増設に伴い、プラスチックシンチレーターによる吸収のため、中性子計の絶対強

度は減少する．全計数値を増設の前後で比較し，かつ逐日変化を考慮することによって，3.7%の減少が認められた．この値は勿論各多重度で異なる．

4.3.4. 宇宙線強度異常増加

現 solar cycle になってから，5 回目の 10^9 eV 程度の太陽宇宙線現象が1971年1月24日～25日にかけて起こった．図12にこのときの異常増加の様子を示す．昭和基地で観測された maximum intensity は，49,460 counts/5min で，平常値より約14%の増加になる．ピークの時刻は同時に観測された太陽電波バーストのピーク時より約30分遅れているので，この太陽宇宙線の地球への到達は impact 型ではなく，diffusion 型であると考えられる．昭和

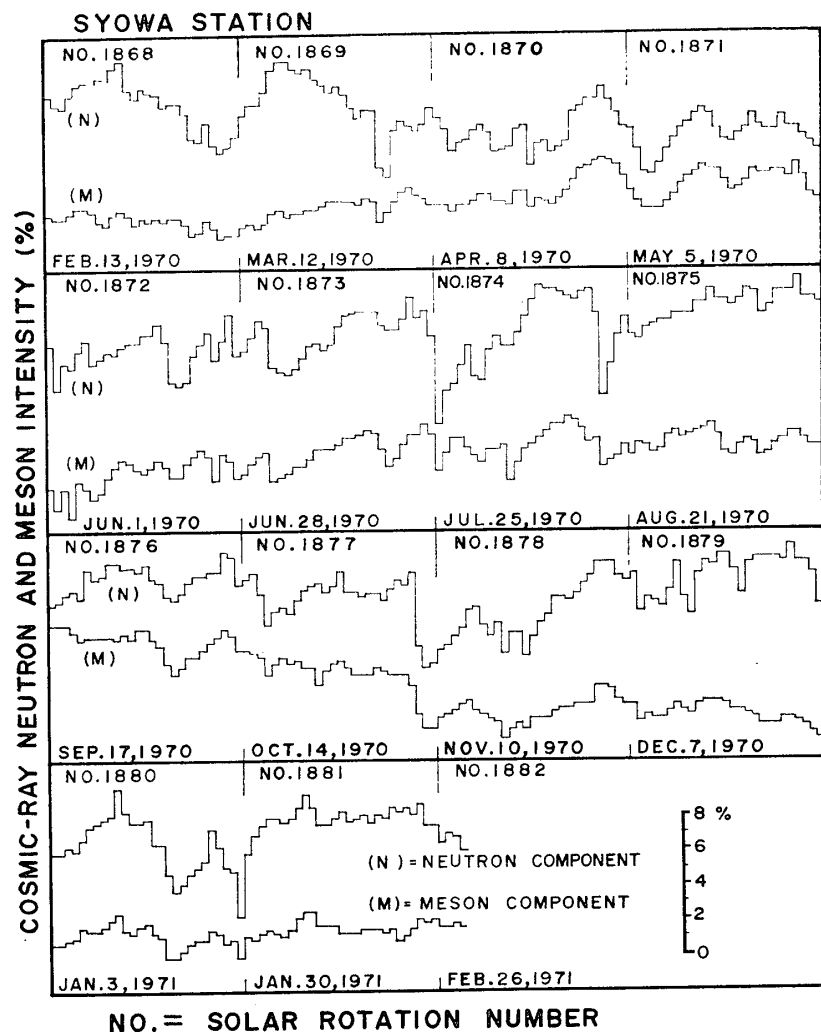


図 11 昭和基地における宇宙線中性子成分(N)および中間子成分(M)の逐日変化
 Fig. 11. Day-to-day variation of daily mean intensity of cosmic-ray neutron (N) and meson (M) component for every solar rotation cycle at Syowa Station.

基地における異常増加は中性子成分のみにみられ，中間子成分にはほとんど変動が認められなかった．また，当時「ふじ」が昭和基地付近の氷海に仮泊しており，この宇宙線増加現象は船上中性子計によっても観測された．

4.3.5. Forbush 減少

今期間は IASY に当たるので，かなりの Forbush 減少が観測された．Sudden commencement (S.C.) をもつ地磁気嵐にともなって生ずる，宇宙線 Forbush 減少の現象について，1970年2月～1971年2月の1年間に観測されたものをまとめて表5に示す．それぞれ ΔI_N は中性子成分， ΔI_M は中間子成分の減少の割合で，パーセントで表示されている．

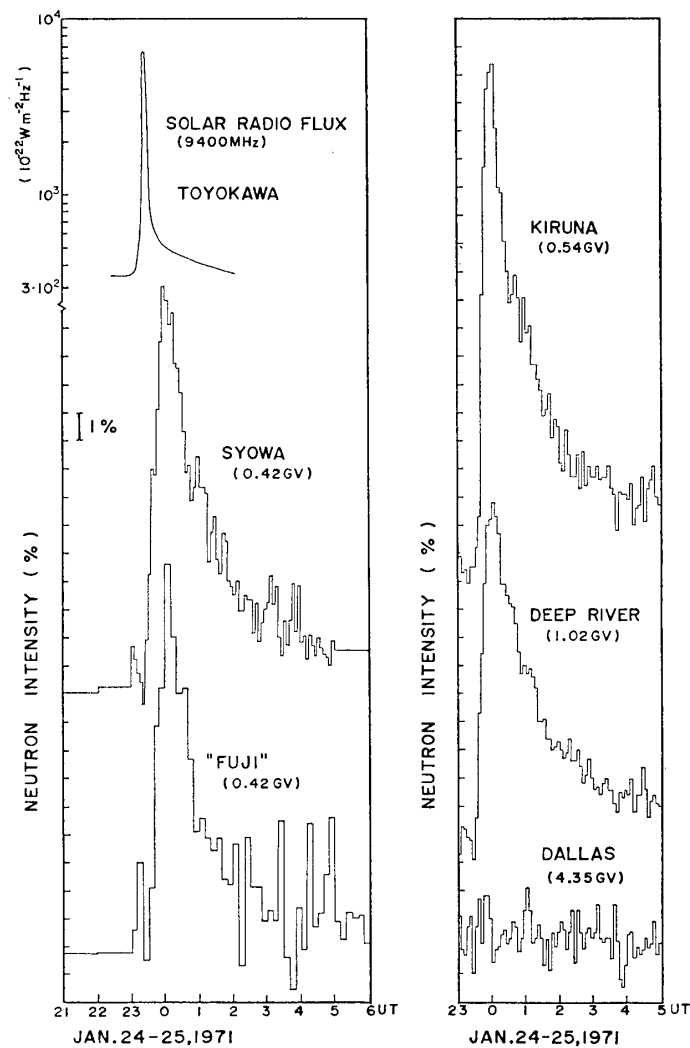


図 12 1971年1月24-25日の太陽宇宙線現象
Fig. 12. Time profiles of solar cosmic-ray event observed at different stations on Jan. 24-25, 1971.

数字は概略値で，中性子成分の減少の割合が2%に満たないものは省略した．一般に，中間子成分の減少の割合は中性子成分の半分以下である．

4.3.6. 気圧測定におよぼす風の影響（楠瀬・小玉，1972）

風の強いときは，建物内の気圧は一般に真の大気圧とは異なるので，室内に置かれた気圧計は正しい値を示さないことが知られている．気圧測定の精度は，気圧効果係数の大きい宇宙線中性子成分強度の観測上より要求され，風の強い極地の昭和基地について，すでに須田・小玉（1964）によって風による気圧測定値の偏差が中性子成分観測の結果から指摘されている．

表 5 昭和基地で観測された Forbush decrease 現象
Table 5. List of Forbush decrease events recorded at Syowa Station.

Solar rotation	Date	ΔI_N	ΔI_M
No. 1868	Feb. 24, 1970	3 %	0 %
	Mar. 6	3	0
	Mar. 8	2	1
1869	Mar. 27	3	1
	Mar. 31	5	2
1870	Apr. 20	3	2
1871	May 27	2	0
1872	June 2	4	2
	June 17	2	1
	June 27	3	2
1873	July 1	3	2
	July 24	3	1
1874	July 29	4	2
	Aug. 16	7	2
1877	Oct. 16	4	2
	Nov. 7	6	3
1878	Nov. 18	3	1
	Nov. 21	4	2
1879	Dec. 14	4	1
1880	Jan. 18, 1971	3	2
	Jan. 28	4	2
1881	Feb. 24	2	1

1969年2月大型中性子計が完成し、その全計数は約 5.7×10^5 counts/hour となった。この統計的誤差は $\pm 0.13\%$ であるから、0.2mb の気圧測定誤差は中性子成分強度に約0.15% の誤差をもたらすことになり、無視できないものとなる。気圧測定誤差の原因のうちで一番大きいのは、風による影響であると考えられる。現在の昭和基地では、強い風の吹くときの風向が年間を通じてほぼ一定の北東方向であることを利用した気圧取り入れ口が用いられており、水平に保持された円板型の中心の穴から静気圧をとり入れ、室内のステーション型気圧計で測定している。風洞実験によれば、風速が 50m/s のときにも気圧偏差が 0.6mb 以下とされている（清水他，1967）。しかし、実際にどの程度の風の影響があるかについて知っておく必要がある。このため、1969年2月から1971年2月までの2年間に、風速が30m/s を越えたときを選んで、中性子成分強度の変化と風速との関係を求めた。

気圧偏差が風速の2乗に比例するという仮定のもとに、気圧偏差係数 C_p を求め検討した。この結果、円板型の気圧取り入れ口の採用によって風による気圧測定への影響は減少してはいるが、風洞実験の値よりは絶対値にしてなお1桁程度大きいことがわかった。季節的な影響については、夏季よりも冬期のほうが気圧偏差が大となる傾向のあることがわかった。図13に代表的な一例を示す。(a)は Apatity, (b)は Oulu における中性子強度である。(e)の実線は昭和基地で観測された気圧で、この気圧値を用いて補正した昭和基地の中性子強度変化が(d)であるが、8月15日の変化は Apatity や Oulu の場合と大きく異なっている。(e)の点線は風速(f)を用いて補正した気圧である。この風速に対して、補正された気圧値を用いて、気圧補正された中性子強度変化が(c)であり、(a) Apatity, (b) Oulu における変化とよい一致を示している。

5. 宇宙塵の採集

宇宙空間から地球上に到達したと考えられている宇宙塵を回収し、その中に含まれている宇宙線生成元素の分析を行ない、宇宙塵が確実に宇宙空間に存在していた証拠を定量的に明らかにすることを目的としている。宇宙空間には、地表に比べ約1000倍の強度の宇宙線照射により、宇宙塵中にいわゆる宇宙線生成核種が存在するであろうと推定されるからである。ただし、それには多量の宇宙塵を必要とし、たとえば Al-26 の存在を検出するには、0.01 g の宇宙塵が必要となる。これだけの量を能率よく集めるには、地表物質による汚染の少ない南極での、氷中や大気中からによるのが最も適していると思われる。

1) 昭和基地では、従来から飲料水用のフィルターを回収して、これから宇宙塵の採集

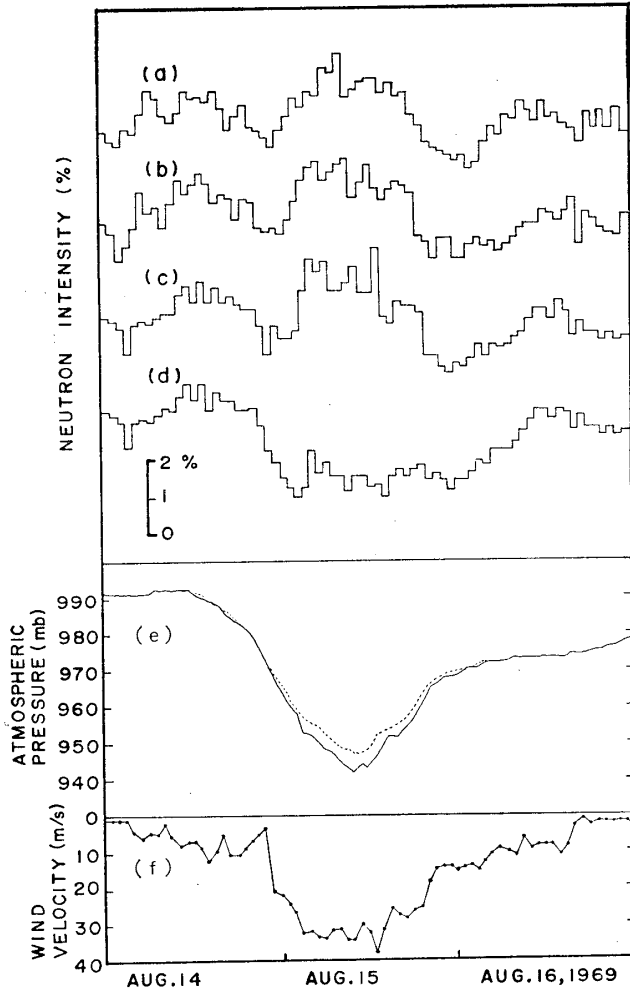


図 13 中性子強度の気圧補正におよぼす強風の影響の昭和基地における 1 例. (a)Apatity. (b)Oulu. (c)風速補正の気圧値を用いて補正した中性子強度. (d)風速未補正の気圧値による補正をした中性子強度. (e)気圧. 点線は風速に対する補正. (f)風速.

Fig. 13. An example of the effect of strong wind on the neutron intensity correction for atmospheric pressure observed at Syowa Station. (a) Apatity. (b) Oulu. (c) Neutron intensity corrected for the wind velocity corrected atmospheric pressure. (d) Neutron intensity corrected for the wind velocity uncorrected atmospheric pressure. (e) Atmospheric pressure. Dotted line means correction for wind velocity. (f) Wind velocity.

を行なってきた。第11次隊においては、氷山の氷をとかした水をろ過し、実体顕微鏡により宇宙塵を選別して採集した。これにより、1 kg の氷から 0～3 個の割合で宇宙塵を採集した。この作業は年間を通じ、他の観測の合間に随次行なった。

2) 観測棟屋上に吸引装置をおき、ろ紙を通して空気中からも採集を行なった。サンプリングは天気の良い日中とし、冬の暗い時期は中止した。ろ紙はそのまま持ち帰った。

3) 陸地から遠く離れた海上も汚染は少ないので、「ふじ」船上で空気中からの採集を試みた。しかし、残念ながら出航後間もなく吸引装置のモーターが焼きついたため、採集は中止した。以上の資料に関しては、理化学研究所地球化学研究室で分析が進行中である。

6. 結 び

以上が第11次南極地域観測隊宇宙線部門で行なった観測の内容と、これまでにまとめられ

た結果の概要である。資料の整理，解析がまだ終わっていない部分が多く，速報的な報告にならざるを得なかった。今後ともこれらの貴重なデータを十分に活用して解析を行なう必要があろう。

著者の一人（楠瀬）が第11次南極地域観測隊に参加できたのは，理化学研究所宇宙線研究室主任研究員宮崎友喜雄博士をはじめ，研究室の方々のご尽力とご援助によるものであり，また，当時の少ないスタッフの中から，快く送り出していただいた高知大学文理学部物理学教室上田寿教授他の方々に深く感謝する。観測にあたっては，第11次南極地域観測隊隊長松田達郎博士はじめ，第11次および第10次の各隊員，とりわけ超高層部門および気象部門担当の隊員各位のご指導とご支援をいただいたことを厚くお礼申し上げる。大気球観測には，小倉紘一隊員（第10次越冬）に観測を分担していただき，気象部門隊員にはラジオゾンデの追跡をお願いした。また重粒子観測装置は日本大学玉井英次教授はじめ教室の方々によって準備され，データ解析も同教室で行なわれていること，また，宇宙塵の分析については，理化学研究所島誠主任研究員の下で行なわれていることを記して感謝したい。

文 献

- CARMICHAEL, H. (1968): Cosmic rays (Instrument). *Ann. IQSY*, **1**, 178-197.
- 後藤栄一郎・大内徹也・中谷英夫・大沼勇・小玉正弘 (1967): 南極用宇宙線計自動読み出し記録装置。理化学研究所報告, **43**, 49-61.
- 石田喜雄・小玉正弘 (1969): 第8次南極地域観測越冬隊宇宙線部門報告。南極資料, **35**, 1-21.
- 小玉正弘・小倉紘一 (1969): 気球搭載用オーロラX線測定器。理化学研究所報告, **45**, 25-33.
- KODAMA, M., M. KUSUNOSE, K. OGURA, H. TANAKA, S. ENOME and Y. SHIOMI (1970): Observation of the hard solar X-ray burst of February 11, 1970 at Syowa Station, Antarctica. *Proc. Interamerican Seminar, Cosmic Rays, La Paz*, **1**, 255-269.
- KODAMA, M., M. KUSUNOSE and K. OGURA (1971): Characteristics of the energetic solar X-ray burst of 11 February 1970 observed at balloon altitude. *Rep. Ionos. Space Res. Japan*, **25**, 285-300.
- 楠瀬昌彦・小玉正弘・小倉紘一 (1970): 1970年2月11日の太陽X線バースト。IASY シンポジウム (第3回), 123-130.
- 楠瀬昌彦・小玉正弘 (1972): 南極昭和基地における宇宙線強度の気圧補正におよぼす風の影響。理化学研究所報告, **48**, 121-127.
- 小倉紘一 (1971): 第10次南極地域観測隊宇宙線部門報告。南極資料, **40**, 22-33.
- OGURA, K., K. HAYASHI, G. ROACH, T. SUDA and M. KODAMA (1969): A preliminary report on balloon observation of auroral X-rays at Syowa Station, Antarctica. *Antarctic Rec.*, **35**, 35-36.
- OGURA, K., K. J. FROST and M. KODAMA (1971): Comparison of the hard solar X-ray burst of February 11, 1970 observed at balloon and satellite altitudes. *12th International Conference on Cosmic Rays, Cosmic Ray Conference Papers*, **2**, 432-436.

清水逸郎・矢島幸雄・宇野義郎・佐藤高・松田登志（1967）：気圧の取入口．天気，**14**，147-150.

須田英博・小玉正弘（1964）：宇宙線から推定した昭和基地建物内の強風下における気圧降下．南極資料，**20**，53-60.

須田友重・小玉正弘（1971）：第9次南極地域観測越冬隊宇宙線部門報告 一宇宙線中性子連続観測一．南極資料，**42**，1-15.

玉井英次・境孝裕・湖上農一・成田信男・小倉紘一・坪松学（1970）：気球搭載用低エネルギー一次宇宙線測定器．日本大学生産工学部研究報告，**3**，61-65.

TAMAI, E., T. SAKAI, N. NARITA, K. OGURA, S. KOGAMI, M. KUSUNOSE and M. KODAMA (1971) :
Low energy cosmic ray protons, He and neutral particles over Syowa Station, Antarctica. 12th
International Conference on Cosmic Rays, Cosmic Ray Conference Papers, **2**, 555-560.

（1972年12月27日受理）